

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :  
(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

2 492 159

AZ

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 21944**

(54) Ecran convertisseur de neutrons, intensificateur d'images comprenant un tel écran.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). H 01 J 29/44; G 01 T 3/00; H 01 J 31/50.

(22) Date de dépôt..... 14 octobre 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 15 du 16-4-1982.

(71) Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, société anonyme, résidant en France.

(72) Invention de : Daniel Gibilini, Jean-Pierre Galves et Henri Rougeot.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire :

## 1

L'invention concerne un écran convertisseur de neutrons.

Un tel écran est utilisé pour former l'image d'un flux de neutrons incidents ; il est normalement incorporé à un tube, dit intensificateur d'images, fonctionnant sous l'action d'un tel flux.

5        La structure de tels tubes est semblable à celles de tubes plus connus, les intensificateurs d'images radiologiques (IIR), dont l'usage est largement répandu en médecine et qui fonctionnent sous excitation de rayons X.

10       Dans les deux cas, celui des neutrons comme celui des rayons X, le problème à résoudre - et la raison d'être de l'écran convertisseur - est le même. C'est celui de la conversion de l'excitation incidente en un flux d'électrons capables de produire à leur tour, par leur impact, une image sur une surface réceptrice. Dans les deux cas, il s'agit d'obtenir un flux d'électrons représentatif du flux  
15       incident.

On connaît les solutions apportées à ce problème en radiologie et dont celle la plus couramment pratiquée consiste à réunir dans un même écran, l'écran d'entrée du tube IIR, un matériau luminescent, ou scintillateur, capable de convertir les rayons X en photons  
20       lumineux, et une photocathode recevant ces photons et émettant des électrons focalisés au-delà vers la surface réceptrice, un écran cathodo-luminescent par exemple, dit écran de sortie. Les deux matériaux, convertisseur et photo-émetteur, sont disposés vis-à-vis et à proximité l'un de l'autre pour former l'écran d'entrée en  
25       question, généralement concave pour des raisons touchant à l'optique des rayons électroniques.

Cette proximité conditionne, comme on sait, la définition de l'image finale, car tout intervalle entre les deux parties de l'écran d'entrée entraîne nécessairement un étalement de la lumière émise  
30       par les points du scintillateur vers la photocathode et altère, de ce fait, la correspondance ponctuelle entre ces deux éléments.

L'existence d'un tel intervalle nuirait aussi au contraste de l'image, par les réflexions spéculaires à l'interface, au niveau de la

photocathode, qui feraient qu'une fraction de la lumière se trouverait renvoyée vers le scintillateur, qui la rétro-diffuserait vers la photocathode en une sorte de halo entourant le point image sur celle-ci.

5 C'est ce qui fait que les solutions à support intermédiaire, en verre par exemple, ont été progressivement abandonnées, pour celles à contact direct entre les deux parties, ce contact posant lui-même le problème de la non affinité chimique entre les matériaux constitutifs de celles-ci.

10 Enfin, le matériau scintillateur doit présenter un pouvoir d'absorption aussi élevé que possible vis-à-vis du rayonnement incident, car un tel pouvoir conditionne la sensibilité de l'écran et l'efficacité de l'ensemble auquel il est incorporé.

15 Ces problèmes se retrouvent dans des termes semblables dans les intensificateurs d'images en neutrons (IIN) auxquels se rapporte l'invention, avec bien entendu des variations dues à la nature des matériaux à utiliser, qui ne sont pas les mêmes pour les IIR et les IIN.

20 Dans un premier art antérieur des IIN, l'écran convertisseur de neutrons comportait un mélange de deux corps dont chacun assurait une fonction déterminée : l'un, la conversion des neutrons en un rayonnement  $\alpha \beta \gamma$  et l'autre, la conversion de ce dernier en lumière destinée à la photocathode. On a ainsi utilisé des mélanges de fluorure de lithium, LiF et de sulfure double à l'argent, ZnS, Cd S(Ag), ou de sesquioxyde de bore, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et de sulfure de zinc à l'argent, Zn S (Ag), le lithium ou le bore assurant, suivant le cas, la conversion en rayonnement  $\alpha \beta \gamma$  ; voir à ce sujet l'ouvrage de Harold Berger : "Neutron Radiography Elsevier Publishing Company - 1965.

30 Mais ces mélanges, à structure granulaire, présentaient l'inconvénient que les centres de conversion des neutrons incidents en rayonnement  $\alpha \beta \gamma$  se trouvaient séparés des centres luminescents proprement dits, assurant la seconde conversion en lumière, par des intervalles de dimensions non négligeables, et cela limitait sensi-

blement, à cause de déperditions diverses entre les deux sortes de centres, le rendement global de conversion et la sensibilité de l'ensemble.

5 Vinrent alors les dispositions utilisant le gadolinium, basées sur la double propriété de ce corps de présenter une section efficace encore plus grande aux neutrons et d'émettre un rayonnement d'électrons. Mais il reste le problème de la juxtaposition des deux parties constitutives de l'écran, à savoir le convertisseur de neutrons et la photocathode ; cette dernière doit être, comme on l'a dit, aussi  
10 proche que possible de la partie luminescente, en même temps qu'à l'abri de toute action chimique de sa part.

Ce problème présente des difficultés. Pour les éviter, Berger cité, à proposé une solution dans laquelle ce passage par le rayonnement lumineux et une photocathode était supprimé. L'émission  $\beta$  du gadolinium était directement utilisée pour former l'image électronique ; mais il s'avère que ces électrons présentent une telle dispersion en énergie et direction qu'il est difficile, quels que soient les moyens d'optique mis en oeuvre, d'obtenir une bonne image. Cette image, de toute façon, par la nature aléatoire de l'émission  
15  $\beta$ , présente un facteur de bruit élevé.

20 L'invention met à profit les propriétés de ce matériau pour la constitution d'écrans convertisseur à photocathode présentant une résolution et un contraste améliorés, associés à une bonne sensibilité, dans les conditions exposées ci-dessous.

25 L'invention concerne un écran convertisseur de neutrons composé d'une photocathode disposée vis-à-vis d'une couche de grains d'un corps capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est exposé à un flux ( $\rightarrow n$ ) de neutrons incidents, caractrisé en ce que le corps en question consiste en oxysulfure de gadolinium,  $Gd_2 O_2 S$ , mélangé à  
30 un dopant, et en ce que la photocathode recouvre la surface lisse d'une couche d'un corps minéral intermédiaire en contact avec les grains.

L'invention sera mieux comprise en se reportant à la description qui suit et aux figures jointes qui représentent :

Fig. 1 et 2 : des vues schématiques en coupe de deux variantes de l'écran convertisseur de neutrons de l'invention ;

Fig. 3 une vue schématique en coupe d'un tube intensificateur d'images en neutrons.

5 Les figures 1 et 2 sont des vues en coupe montrant schématiquement, à titre non limitatif, deux exemples d'écran convertisseur de l'invention.

L'écran de l'invention comprend, sur un support, un dépôt luminescent en grains, et une photocathode adjacente à ce dépôt.

10 L'interface dépôt luminescent photocathode est constitué par une surface minérale transparente à la lumière suivant des modalités propres à chaque variante.

15 Sur les figures, le repère 1 désigne le support, transparent aux neutrons, arrivant de la gauche dans la direction de la flèche n ; le support en question, en métal, pris dans une feuille d'aluminium par exemple, joue aussi le rôle de réflecteur pour la partie de la lumière engendrée dans le dépôt luminescent qui pourrait se trouver renvoyée vers l'entrée. Le repère 2 désigne le dépôt luminescent et le repère 3 la photocathode émettant, en fonctionnement, les élec-

20 trons,  $e^-$ , formant l'image électronique.

Dans la variante de la figure 1, les grains 20 de la partie luminescente 2 sont noyés dans un liant minéral, que l'on a schématisée par les traits entre grains auxquels on a donné le repère 21. Sur la surface lisse 22 de ce liant est déposée la photocathode 3. Le

25 liant 21, qui enrobe complètement les grains 20, affleure à moins du micromètre de la masse des grains ; la distance entre cette masse de grains et la photocathode se trouve ainsi réduite à une très faible valeur, ce qui, comme on l'a vu, est favorable à une meilleure résolution de l'ensemble et réduit le phénomène de halo.

30 Le matériau luminescent de la couche 2 est, dans l'invention, un composé de gadolinium, l'oxysulfure, de formule chimique  $Gd_2O_2S$ , dopé par une terre rare, le terbium, Tb ou le praséodyme, Pr. L'absorption des neutrons incidents est assurée par le gadolinium qui émet, sous l'action de ceux-ci, un rayonnement secondaire  $\alpha\beta\gamma$ .

Les particules  $\beta$  de ce rayonnement, qui consistent en des électrons de 70 keV d'énergie environ, excitent ce composé rendu cathodo-luminescent par la présence du dopant (Tb ou Pr), dont l'effet est d'introduire un état métastable dans sa bande interdite.

5

Le bilan du transfert s'établit comme suit :

$n - (\text{Gd}) \xrightarrow{\beta} (\text{e}, 70 \text{ keV}) (\text{Gd}_2 \text{O}_3, \text{Tb ou Pr}) \rightarrow \text{lumière, dans lequel}$

10

composé oxydé dopé apparaît comme le luminophore proprement dit.

Pour avoir une idée de l'amélioration ainsi apportée à la sensibilité des écrans, on notera que le coefficient d'absorption des neutrons par le gadolinium s'établit autour de 100, alors qu'il est respectivement de 25 et de 4 pour le bore et le lithium cités plus haut. Le choix du dopant dépend de la rémanence du transfert désirée, plus faible avec le praséodyme qu'avec le terbium.

15

20

25

La photocathode 3 est déposée à la surface 22 du liant minéral 21 dans laquelle sont noyés les grains 20 du matériau luminescent. Une bonne transmission de la lumière 10, sans l'étalement signalé plus haut, a lieu à travers cette surface vers la photocathode, située à proximité immédiate du corps luminescent du fait de la faible épaisseur du liant au-dessus des grains. Une telle surface lisse évite les inconvénients connus du dépôt du matériau photocathodique sur les grains qui conduit à une photocathode formée d'îlots sans continuité électrique entre eux. La réalisation de la photocathode a lieu par tout procédé à la portée de l'homme de l'art en ce domaine et à l'aide d'un matériau présentant un bon couplage spectral avec la lumière reçue. On ne s'étendra pas davantage sur cette réalisation.

Par contre on donnera, à titre indicatif, un mode préféré de réalisation de la couche 2 luminescente.

30

Le composé minéral choisi est la silice,  $\text{SiO}_2$ , dont on réalise une suspension colloïdale aqueuse, caractérisée par la très faible granulométrie du solide, 5 nanomètres environ. Le dépôt luminescent est complètement imbibé de la suspension, par trempage dans celle-ci de l'ensemble constitué par le support 1 et les grains 20,

préalablement déposés sur celui-ci. Après égouttage, l'ensemble est étuvé ; cet étuvage assure la précipitation des grains 21 du colloïde dans les interstices des grains 20. L'opération est répétée jusqu'à remplissage complet des vides entre les grains 20 et de façon que le liant minéral n'affleure pas à plus de un micromètre au-dessus des grains. Avec une suspension colloïdale de silice à 10%, il faut compter sur une dizaine d'opérations pour un dépôt de luminophore de 15mg/cm<sup>2</sup>. D'autres matériaux, tels que la fluorine, Mg F<sub>2</sub> ou des silicates, sont utilisables.

10 Dans la variante de la figure 2, le composé minéral est déposé sur les grains de luminophore 20 en une couche mince (trait épais sur la figure), dont la surface extérieure 40 est lisse comme la surface 22 de l'exemple précédent ; dans cette variante les intervalles entre les grains restent vides ; il existe des moyens bien connus de réaliser  
15 une telle couche. Un film un matériau organique, de la nitro cellulose en particulier, est d'abord déposé sur la crête des grains, puis recouvert d'un dépôt du composé minéral choisi, tel que la silice par exemple , sur une épaisseur ne dépassant pas le micromètre ; un traitement thermique élimine ensuite le film organique sous-jacent,  
20 laissant en place la couche de silice, sur laquelle est déposée dans les mêmes conditions que précédemment la photocathode.

Dans un exemple de réalisation de cette deuxième variante, le support 1, en aluminium, présentait une épaisseur de 100 micromètres, la couche 2 de luminophore, faite de grains de 5 à 10 micromètres, était épaisse de 40 micromètres, valeur correspondant  
25 à un poids de luminophore par centimètre carré de 15 mg ; l'épaisseur de la couche de silice était de 0,5 micromètres.

Les chiffres suivants montrent l'amélioration apportée par l'écran de l'invention, toutes choses égales par ailleurs, aux caractéristiques d'un tube intensificateur d'images en neutrons.  
30

La résolution passait de 2pl/mm à 40pl/mm (pl pour paire de lignes), le contraste de 6% à 20% et le rendement de conversion, c'est à dire le nombre d'électrons émis par la photocathode par neutron incident de 6 à 60 ; le gain d'ensemble du tube était de

36000 contre 4000 avec un écran convertisseur de l'art antérieur ; ces chiffres représentent le nombre de photons à 550 nanomètres de longueur d'onde de l'écran de sortie cathodo-luminescent du tube correspondant à un neutron incident.

5           Le schéma d'un tube intensificateur d'images en neutrons est donné à la figure 3. A l'une des extrémités d'une enceinte à vide 10 sont disposés l'écran d'entrée 100, composé des parties 1, 2 et 3 des figures précédentes, et l'écran de sortie portant le repère 200 ; des moyens d'optique électronique, non représentés, sont disposés entre 10 les deux écrans pour focaliser le pinceau d'électrons (traits croisés) allant d'un point de l'écran d'entrée au point image correspondant de l'écran de sortie, un écran cathodo-luminescent utilisé à la vision directe d'images lumineuses formées par impact des électrons sur cet écran.

15           Les applications de l'invention sont notamment la visualisation directe sur écran luminescent de tubes du type décrit ci-dessus, et la neutrographie, par réalisation de clichés photographiques à partir de la lumière, dans le spectre visible, émise par le convertisseur 20 utilisé seul, pour des objets de nature très diverses, comme, en particulier, les pièces de mécanique, en vue de la détection de leurs défauts.

La neutrographie peut aussi être obtenue par photographie de l'écran de sortie d'un I.I.N.



REVENDEICATIONS

5 1. Ecran convertisseur de neutrons composé d'une photocathode (3) disposée vis-à-vis d'une couche (2) de grains d'un corps capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est exposé à un flux ( $\rightarrow n$ ) de neutrons incidents, caractérisé en ce que le corps en question consiste en oxysulfure de gadolinium,  $Gd_2 O_2 S$ , mélangé à un dopant, et en ce que la photocathode (3) recouvre la surface lisse (22) d'une couche d'un corps minéral intermédiaire (21) en contact avec les grains.

10 2. Ecran suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le dopant est le terbium ou le praséodyme.

3. Ecran suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le corps minéral intermédiaire (21) occupe tout l'espace libre entre les grains, et en déborde du côté de la photocathode sur une hauteur faible par rapport à la dimension de ces grains.

15 4. Ecran suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le corps minéral intermédiaire forme un film (30) reposant du côté opposé à la photocathode sur la crête des grains, de faible épaisseur par rapport à la dimension de ces grains.

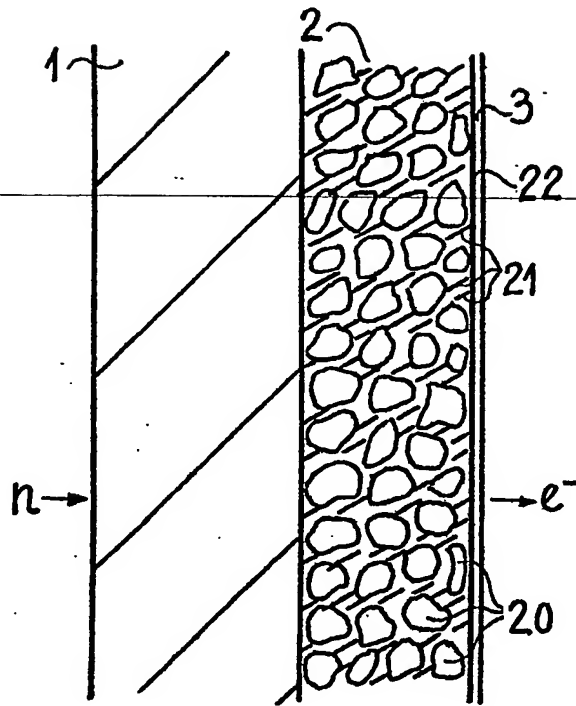
20 5. Ecran suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le corps minéral consiste en de la silice,  $Si O_2$ .

25 6. Tube intensificateur d'images en neutrons comprenant, aux deux extrémités d'une enveloppe à vide (300), un écran d'entrée (100) assurant l'émission d'électrons sous l'action des neutrons incidents et un écran de sortie (200), vers lequel sont accélérés, en fonctionnement, les électrons émis, le tube comprenant en outre des moyens de focalisation des électrons émis par chaque point de l'écran d'entrée vers le point correspondant de l'écran de sortie, caractérisé en ce que l'écran d'entrée du tube est un écran suivant l'une des revendications 1 à 5.

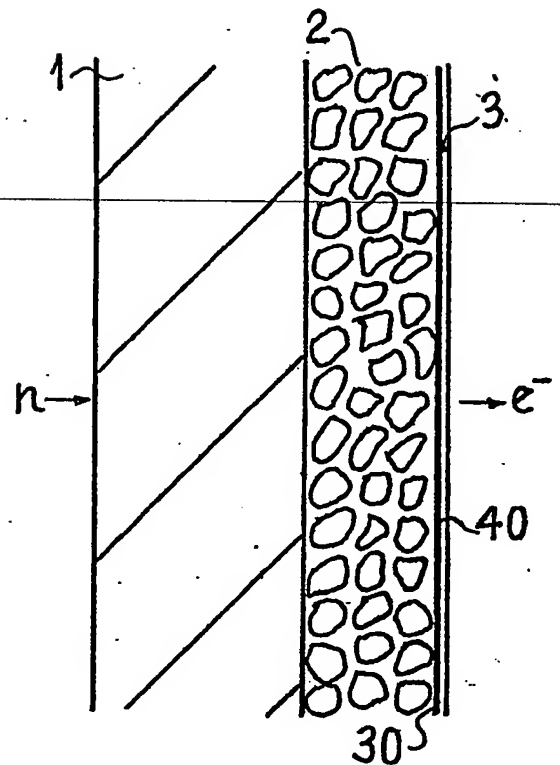
2492159

FIG\_1

1/1



FIG\_2



FIG\_3

